昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，June 2006，49(3)：447 – 453　　ISSN 0454-6296

寄主对桔小实蝇耐寒性的影响

任　璐[1,2]，陆永跃[1]，曾　玲[1*]，庞淑婷[1]

(1.华南农业大学昆虫生态研究室，广州　510642；2.仲恺农业技术学院植物保护系，广州　510225)

摘要：为了研究寄主营养对桔小实蝇耐寒性的作用，测定了以 15 种果蔬饲养的桔小实蝇 1 日龄蛹的过冷却点(supercooling points，SCP)；再选取南瓜、西红柿、柑桔、番石榴和杨桃等 5 种果蔬，测定了桔小实蝇 3 龄老熟幼虫、1 日龄蛹、3 日龄蛹、5 日龄蛹、7 日龄蛹和雌雄成虫的过冷却点，并观察了 1 日龄蛹的低温存活力。结果表明：(1) 15 种果蔬饲养所得的桔小实蝇 1 日龄蛹 SCP 均值在 –11.03℃ ~ –13.17℃，不同寄主发育的桔小实蝇 SCP 值存在显著性差异，其中以取食蒲桃的最高，为 –11.03℃，取食苦瓜的最低，为 –13.17℃。(2) 5 种果蔬饲养所得的桔小实蝇各虫态的 SCP 均值存在极显著差异($F_{(4,863)} = 35.6$，$P < 0.01$)；同一寄主上的桔小实蝇不同虫态之间 SCP 均值也达到极显著性差异($F_{(6,863)} = 392.9$，$P < 0.01$)；且寄主和发育龄期之间存在着极显著的交互作用($F_{(24,863)} = 9.4$，$P < 0.01$)。(3)桔小实蝇各发育阶段，SCP 值表现一定变化：老熟幼虫发育至 1 日龄蛹，SCP 值变化不大；蛹发育至 3、5 和 7 天过冷却能力明显增强，降至 –20℃左右，但他们之间没有明显区别；羽化后 3 ~ 5 天的成虫 SCP 值又升高至 –10℃左右。老熟幼虫、1 日龄蛹和 2 ~ 3 日龄成虫与 3 日龄、5 日龄和 7 日龄蛹的 SCP 值之间有显著性差异。(4)将 5 种果蔬饲养所得的桔小实蝇 1 日龄蛹置于 6℃和 –3℃下进行较长时间(1 ~ 8 天)和较短时间(1 ~ 8 h)的低温处理，发现番石榴、杨桃和南瓜发育的蛹经低温处理后的校正羽化率较西红柿和柑桔发育的蛹高；同样在 0℃、3℃、6℃和 9℃处理(2 天)的实验中，得出相似的结果。因此，本实验结果表明桔小实蝇幼虫由于生活寄主的不同使得其下一代蛹的耐寒性产生了差异，引起其差异的原因值得进一步研究。

关键词：桔小实蝇；寄主；过冷却点；耐寒性；温度

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2006)03-0447-07

Effect of different hostfruits on the cold hardiness of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera：Tephritidae)

REN Lu[1,2]，LU Yong-Yue[1]，ZENG Ling[1*]，PANG Shu-Ting[1] (1. Laboratory of Insect Ecology，South China Agricultural University，Guangzhou 510642，China；2. Department of Plant Protection，Zhongkai University of Agriculture and Technology，Guangzhou 510225，China)

Abstract：The influence of different host fruits on the cold hardiness of oriental frit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) was evaluated in the laboratory. One day old pupae bred with 15 different melons and fruits were chosen to test for their supercooling points (SCP). Furthermore，the SCPs of 3rd instar larvae，one day old pupae，3 days old pupae，5 days old pupae，7 days old pupae and 2 – 3 days old adults (male and female) bred with five host plants (pumpkin，tomato，citrus，guava and star fruit) were measured，and the survival of one day old pupae bred with these five plants at low temperatures was observed. The results showed that the mean SCPs of one day old pupae of *B*. *dorsalis* bred with 15 different host fruits ranged from –11.03℃ to –13.17℃. Moreover，these values were significantly different at 0.05 level，and these fed on rose apple had the highest SCP (–11.03℃)，while those fed on balsam pear had the lowest SCP (–13.17℃). The mean SCPs of *B*. *dorsalis* at the same developmental stages bred with the five host fruits further tested were significantly different from each other ($F_{(4,863)} = 35.6$，$P < 0.01$). The mean SCPs at different developmental stages of *B*. *dorsalis* bred with the same host were also markedly differenct from each other ($F_{(6,863)} = 392.9$，

基金项目：国家重点基础研究发展规划“973”项目(2002CB111400)；广东省科技计划项目(2002B2160203)；广东省科技计划重大项目(2004A20401002)

作者介绍：任璐，女，1977 年生，博士研究生，从事昆虫生理生态学方面的研究，E-mail：lufeier007@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：zengling@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2005-10-20；接受日期 Accepted：2006-04-13

$P < 0.01$), and there were notable interaction between host fruits and the fruit fly developmental stages ($F_{(24,863)} = 9.4$, $P < 0.01$). There were some changes among the mean SCPs of different developmental stages of *B. dorsalis*. From the 3rd instar larvae to one day old pupae, the SCP values were low and there were no significant difference between them. But for the pupae of 3 days old, 5 days old and 7 days old, their SCP values decreased notably, with the lowest point −20℃; however, there were no significant difference among them. For the 2−3 days old adults (female and male), the mean SCPs increased again to −10℃. The SCP values for the 3rd instar larvae, one day old pupae and adults were significantly higher than that of pupae at other three developmental stages. In order to determine the survival response to various cold stress in different host fruits of *B. dorsalis*, acute low temperature (−3℃) (1−8 h) and chronic low temperature (6℃) (1−8 days) regimes were designed, the corrected survival rate of the one day old pupae fed on guava, star fruit and pumpkin were higher significantly than that of the pupae fed on tomato and citrus. By exposing them to the selected low temperatures (0℃, 3℃, 6℃ and 9℃) for 2 days, the same results were obtained. Therefore, it could be concluded that different host fruits could influence the the cold hardiness of next generation of *B. dorsalis*, and the reason underlying this needs to be further explored.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; host; supercooling point; cold hardiness; temperature

温度是影响昆虫种群变动的最重要因子。自然界中,冬季低温对昆虫的不利影响往往是非常广泛和致命的。在这个过程中,昆虫对低温的忍耐能力和所经历的低温将决定其存活和进一步的发育、繁殖、扩散及对下一季节作物的危害(Bale,1989;McDonald *et al*.,1999;Sage *et al*.,1999)。相应地,对于害虫而言,耐寒性及其越冬策略是其在新的地理领域建立种群并成为当地害虫的关键因素之一(McDonald *et al*.,2000),因此针对检疫性害虫的耐寒性研究就显得尤为重要,可以帮助我们确定疫区和保护区,从而有针对性的采取防御和控制措施。

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是为害热带和亚热带水果、蔬菜等农业作物的重要检疫性蛀果害虫,目前在我国华南地区果蔬上危害严重,造成了重大的经济损失,严重打击了当地的果树种植业。在云南河口该虫世代重叠严重,全年均活动,以老熟幼虫和蛹入土越冬(蒋小龙等,2001)。云南瑞丽地区该虫以第5代和第6代成虫于11月中、下旬开始进入越冬;越冬期间,成虫较少活动和取食,直至次年2月中旬才开始产卵繁殖(肖枢等,2001)。桔小实蝇在印度也广泛分布,南方一年四季均活动,在北方以冬眠蛹越冬(Butani, 1979)。关于桔小实蝇在我国的适生区分布、传入风险和种群动态等已有一些研究。范京安(1998)、候伯华和张润志(2005)认为我国华南地区是其最适宜的分布区,长江以北的广大地区不适合桔小实蝇的生存;张润杰和候伯华(2005)对桔小实蝇传入风险的模糊综合评估中发现,桔小实蝇随嗜好水果的传入风险高于选择性嗜好的水果大约2个百分点;刘建宏和叶辉(2005)调查了云南元江干热河谷桔小实蝇的种群动态,表明气温、降雨和寄主植物通过各自的作用方式和发生时间综合影响着当地桔小实蝇种群变动。综上所述,桔小实蝇作为一种在热带和亚热带瓜果上造成严重危害的实蝇,在其最适宜分布区,能一年四季发生,世代重叠,无严格的越冬现象;而在有明显冬季低温的中纬度地区(适宜和次适生分布区),冬季的低温是对其种群的严峻考验,其可能将同时以老熟幼虫、蛹和成虫3种虫态越冬,已获得来年较高的存活基数。中纬度冬季低温的打击是致命的,限制了其分布的范围,但对该虫的耐寒性能力、受影响因素和耐寒性机制等还知之甚少。

桔小实蝇寄主范围广,主要为害番石榴、芒果和杨桃等46个科250多种果树(Vargas and Carey, 1990;Ye,2001)。桔小实蝇寄主可分为最嗜好、比较嗜好、选择性嗜好3类,非寄主水果分为次嗜好(在没有嗜好寄主条件下被迫取食)和完全不嗜好两类。最嗜好的12种寄主的嗜好顺序如下:番石榴 *Psidium guajava* L.、杨桃 *Averrhoa carambola* L.、芒果 *Mangifera indica* L.、番荔枝 *Annona squamosa* L.、番橄榄 *Canarium pimela* Leenh、黄皮 *Clausena lansium* (Lour.) Sk.、枇杷 *Eriobotrya japonica* (Thumb.) Lindl.、人心果 *Manilkara zapota* (L.) van Royen、莲雾 *Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry、油梨 *Butyrospermum parkii* (Don) Kotschy、橙 *Citrus sinensis* (L.) Osb. 和柑桔 *Citrus reticulata* Bl.(张清源,1998)。在影响云南元江和西双版纳桔小实蝇种群

动态的因素中，寄主是主要影响因素（刘建宏和叶辉，2005；叶辉和刘建宏，2005）。同样，在影响昆虫耐寒性的因素中，寄主的作用也是不可忽视的。昆虫在越冬期间的抗寒能力与其体内碳水化合物、脂肪、蛋白质和氨基酸等物质的生理代谢过程的调节有关。桑螟 *Diaphania pyloalis* 越冬幼虫的过冷却能力与其体内的结合脂肪含量、甘油、血淋巴蛋白含量和部分氨基酸成正相关，海藻糖、果糖、甘露醇和山梨醇等碳水化合物在越冬期间也明显增加（陈永杰等，2005a，2005b）。松阿扁叶蜂 *Acantholyda posticalis* 越冬幼虫体内氨基酸含量变化不同，其中丙氨酸和谷氨酸等 5 种氨基酸含量随着气温的下降有明显增加的趋势（梁中贵等，2003）。Stephen 等（2001）同样发现脯氨酸在黑尾果蝇 *Drosophila melanogaster* 的耐寒性调节中有重要作用。这些抗寒物质的代谢与越冬前昆虫的食物营养条件密切相关，特别对多食或杂食性昆虫，寄主对越冬的影响更大。例如，棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 幼虫取食棉花时产生的滞育蛹的过冷却点低于取食玉米的滞育蛹的过冷却点，用 Bt 棉喂养后的棉铃虫滞育蛹抗寒能力下降（杨燕涛等，2002）。鉴于此，本文选取了多种寄主水果和瓜果饲养桔小实蝇，通过测定不同虫期的过冷却点以及 1 日龄蛹的低温存活力，研究了寄主因素对桔小实蝇耐寒性的影响。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试虫源：从广州市杨桃公园采集被桔小实蝇为害的杨桃和番石榴烂果，带回华南农业大学昆虫生态研究室检疫实验室内，放入采虫罐中，在温度为 26 ± 1℃，L∶D = 13∶11（每天早上 6∶00 开灯，晚上 19∶00 关灯），RH 为 60% ~ 70% 的条件下饲养，待其化蛹、羽化后取出，放入养虫笼（60 cm × 50 cm × 50 cm）中，用成虫人工饲料（酵母∶蔗糖 = 1∶3）和水（加有泡沫塑料的水杯）进行群体饲养，繁衍后代。实验种群在繁殖 10 代以上开始实验。每隔 2 ~ 3 个月采集田间种群与实验种群杂交以保持其生命力。

1.1.2　供试果蔬：从广州市天河区万佳超市购买新鲜、光滑和健康的果蔬，买回后用清水冲洗多遍，而后用 75% 的酒精棉擦洗，待干后放置 － 4℃ 冰箱中保鲜备用（一星期内用完）。

1.1.3　试虫收集：将备用的果蔬从冰箱中取出，在养虫室常温（26 ± 1℃）下放置 0.5 h 后直接放入放有处于产卵盛期成虫的养虫笼中，1 天后取出放入通气的保鲜盒中，盒内倒置培养皿，并附有两层滤纸（为漏去和吸去多余果汁之用，保证幼虫的正常生长），放入人工气候箱中。每天观察幼虫发育情况，待至 3 龄老熟幼虫后将其挑入装有沙土（相对含水量 30% ± 5%）的玻璃瓶中，1 天后将沙土过筛，取 1 日龄蛹备用。

1.2　过冷却点（supercooling point，SCP）的测定

1.2.1　过冷却点测定方法：采用热电偶方法测定过冷却点，所用仪器为过冷却点仪（江苏森意经济发展有限公司制造）。测定时将待测虫体放入大小适当的一次性移液器枪头中，将热敏探头伸入与虫体接触，并用隔热材料如棉花包好后放入低温冰箱（－ 20℃ ~ － 30℃）中进行测定。虫体降温速率在 1℃/min 左右。当虫体内体液结冰时，由于潜热释放使记录仪所记录的曲线上有一个较大的回折，根据回折点读出过冷却点值。一个处理完成后用冰水混合物校正热敏探头。

1.2.2　过冷却点实验设计：（1）选取 15 种果蔬（杨桃、番石榴、芒果、柑桔、南瓜、辣椒、青枣、西红柿、苹果、香蕉、梨、蒲桃、黄瓜、荔枝和苦瓜），测定接卵后饲养所得的 1 日龄蛹 SCP 值，每种寄主测定 30 头左右的个体；（2）从这 15 种果蔬中选取 5 种瓜果（杨桃、番石榴、柑桔、南瓜和西红柿），分别测定饲养所得的 3 龄老熟幼虫、1 日龄蛹、3 日龄蛹、5 日龄蛹、7 日龄蛹和羽化 3 ~ 5 天成虫 SCP 值，每个处理测定 30 头左右。

1.3　耐寒性实验

1.3.1　耐寒性测定方法：将桔小实蝇 1 日龄蛹放入一次性小纸杯（Φ 4 cm × 5 cm）后用相对含水量为 30% ± 5% 沙土覆盖，沙土深 2 cm 左右，再用保鲜膜封口保湿，并打小孔透气。然后将纸杯放入 20℃ 的培养箱停留 5 min，15℃ 的培养箱停留 5 min，以 1.5℃/min 速率降温至预先设定的温度梯度（间隔 3℃），暴露一定的时间。处理结束后，以相似的过程逐步升温至 25℃。然后取出处理过的蛹，分装放入保鲜膜封口的塑料杯中，覆盖一定湿度的沙土后转移至 26 ± 0.5℃ 光照培养箱中。待开始羽化后每天记录羽化的成虫数直至无成虫羽化及无剩余活蛹。统计存活率。

1.3.2　耐寒性实验设计：根据预实验的结果，将耐寒性实验设计为以下 3 组：（1）在较低温度下的短期处理：－ 3℃ 下处理 1 h、2 h、4 h 和 8 h；（2）较长期的低温处理：6℃ 下处理 1、2、4 和 8 天；（3）对不

同低温进行 2 天的处理：0℃、3℃、6℃和 9℃。每个处理 4～5 个重复，每个重复 20～30 头蛹。

1.4　统计分析

用 SPSS 软件对实验数据进行分析，不同发育阶段 SCP 差异比较使用 One-Way ANOVA/Duncan 法，低温处理时间与寄主之间的作用进行双因素方差分析。

2　结果与分析

2.1　不同寄主饲养的 1 日龄蛹过冷却点的测定

所选择的 15 种寄主中，在广州地区桔小实蝇对番石榴、杨桃、芒果、蒲桃、青枣、柑桔等为害严重。从表 1 可以看出寄主不同时桔小实蝇 1 日龄蛹的 SCP 值之间存在一定差异。SCP 值低于 －12.0℃的有苦瓜、荔枝、杨桃、黄瓜、苹果、番石榴、柑桔和芒果，在 －11.0℃～－12.0℃之间的有梨、香蕉、青枣、辣椒、西红柿、南瓜和蒲桃。其中最低的是苦瓜为 －13.17℃，最高的是蒲桃为 －11.03℃。蒲桃、南瓜和西红柿上的桔小实蝇 1 日龄蛹的 SCP 值与黄瓜、杨桃、荔枝和苦瓜上的达到显著性差异。

2.2　5 种寄主发育的桔小实蝇不同虫龄过冷却点的比较

对取食 5 种寄主发育而成的桔小实蝇几个虫期的 SCP 测定结果见表 2。

表 1　不同果蔬饲养的桔小实蝇 1 日龄蛹 SCP 值比较

Table 1　Comparison of one day old pupa SCP of oriental fruit fly developed from 15 melons and fruits

瓜果品种 Species of fruits and melons	测试个体数 Number of pupae tested	SCP 值 Means of SCP (℃)	SCP 分布 SCP range (℃)
蒲桃 Rose apple	34	－11.03±0.35 a	8.00
南瓜 Pumpkin	29	－11.03±0.31 a	7.10
西红柿 Tomato	30	－11.11±0.33 a	6.80
辣椒 Hot pepper	33	－11.70±0.28 ab	7.80
青枣 Jujube	26	－11.75±0.30 ab	6.20
香蕉 Banana	26	－11.82±0.26 ab	5.30
梨 Pear	29	－11.98±0.28 ab	5.50
芒果 Mango	30	－12.03±0.32 ab	7.20
柑桔 Orange	30	－12.05±0.19 ab	3.80
番石榴 Guava	31	－12.06±0.22 ab	6.10
苹果 Apple	24	－12.10±0.22 ab	4.50
黄瓜 Cucumber	29	－12.35±0.29 bc	6.40
杨桃 Star fruit	30	－12.73±0.31 bc	7.60
荔枝 Lichi	27	－12.79±0.35 bc	6.60
苦瓜 Balsam pear	38	－13.17±0.30 c	8.20

注 Notes：各寄主 SCP 间差异用 One-Way ANOVA/Duncan 分析，SCP 值后带有相同字母的表示在 0.05 水平上差异不显著。Means of SCP (± *SE*) were analyzed by One-Way ANOVA/Duncan, and those followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level.

表 2　5 种瓜果饲养的桔小实蝇不同发育阶段 SCP 值(℃)比较

Table 2　Comparison of mean SCP values of different developmental periods of *Bactrocera dorsalis* developed from 5 fruits and melons

寄主 Hosts	3 龄幼虫 3rd instar	1 日龄蛹 1 day old pupa	3 日龄蛹 3 days old pupa	5 日龄蛹 5 days old pupa	7 日龄蛹 7 days old pupa	成虫 Adults 雌虫 Female	成虫 Adults 雄虫 Male	成虫 Adults 平均值 Average
番石榴 Guava	－10.56±0.31 ab (a)	－11.83±0.31 b (a)	－20.90±0.32 d (a)	－20.55±0.36 cd (a)	－19.38±0.33 c (ab)	－10.35±0.41 a (ab)	－9.60±0.21 a (a)	－9.99±0.24 a (a)
杨桃 Star fruit	－11.62±0.23 a (b)	－12.08±0.38 a (a)	－20.71±0.32 c (a)	－20.48±0.28 bc (ab)	－19.26±0.32 b (ab)	－11.44±0.42 a (b)	－11.42±0.31 a (b)	－11.43±0.26 a(b)
柑桔 Orange	－10.79±0.22 a (a)	－11.67±0.39 a (ab)	－20.77±0.54 c (a)	－19.70±0.46 bc (ab)	－18.22±0.33 b (a)	－10.77±0.33 a (ab)	－10.22±0.39 a (a)	－10.43±0.19 a (a)
西红柿 Tomato	－10.00±0.35 ab (a)	－11.30±0.41 b (ab)	－21.22±0.38 d (a)	－19.03±0.39 cd (b)	－19.73±0.30 c (b)	－9.74±0.36 a (a)	－10.54±0.30 ab (ab)	－10.13±0.24 ab (a)
南瓜 Pumpkin	－10.68±0.16 a (a)	－10.36±0.28 a (b)	－21.49±0.33 b (a)	－20.33±0.40 b (ab)	－20.16±0.34 b (b)	－11.24±0.29 a (b)	－10.50±0.37 a (ab)	－10.87±0.24 a (ab)

注 Notes：表中数据为平均值±标准误，同行数据后带有相同字母(括号外)表示经 Duncan 检验在 0.05 水平差异不显著，同列数据后带有相同字母(括号内)表示经 Duncan 检验在 0.05 水平差异不显著。Data in the table are mean ± *SE*, and those in the same row followed by the same small letters outside the brackets and in the same column followed by the same small letters inside the brackets have no significant difference at 0.05 level by Duncan's method.

从表 2 可以看出，同一寄主上桔小实蝇不同虫期的 SCP 值之间存在明显差异，其中老熟幼虫、1 日龄蛹和雌雄成虫过冷却点明显较高，在 －10～－12℃，而 3 日龄蛹、5 日龄蛹和 7 日龄蛹过冷却点明显较低，一般在 －18～－21℃。这说明桔小实蝇不同发育年龄或虫期的耐寒能力是变化的，初步的研究结果证实蛹中后期耐寒能力较强。各寄主上桔小实蝇同一虫态 SCP 均值除 3 日龄蛹之间没有差异外，其他虫态间存在显著差异。

对寄主和虫期的 SCP 值进行单因变量的双因素分析结果表明，同一虫期不同寄主之间 SCP 均值存在极显著差异（$F_{(4,863)} = 35.6$，$P < 0.01$），同一寄主不同虫期之间的 SCP 均值也达到极显著性差异（$F_{(6,863)} = 392.9$，$P < 0.01$）。而且寄主和虫期之间存在着极显著的交互作用（$F_{(24,863)} = 9.4$，$P < 0.01$）。

2.3　1 日龄蛹的低温存活力

在 6℃低温下，随着处理时间的延长，桔小实蝇 1 日龄蛹的平均羽化率显著下降，如南瓜饲养所得的蛹处理 2 天后的校正正常羽化率为 81.65%，当处理时间延长至 4 天时，仅有 36.26%的蛹能正常羽化（图 1：A）。几乎所有寄主上桔小实蝇 1 日龄蛹在 6℃低温下存活不能超过 8 天。同一时间长度处理时，不同寄主之间蛹的羽化率存在极显著差异（$F_{(4,78)} = 7.945$，$P < 0.01$），如处理 4 天时，南瓜上蛹的正常羽化率为 36.26%，而柑桔上蛹只有 13.60%正常羽化。寄主与处理时间之间也存在显著的交互作用（$F_{(12,78)} = 4.864$，$P < 0.01$）。

将不同寄主上桔小实蝇 1 日龄蛹在 －3℃低温下进行短期处理，同样表现为随着处理时间的延长，蛹的校正羽化率显著下降的规律（图 1：B）。西红柿上蛹处理 1 h 后，正常羽化率是 81.99%，处理 2 h 时，羽化率显著降低，为 64.61%。同一时间处理中不同寄主间桔小实蝇蛹的羽化率有显著差异（$F_{(4,69)} = 16.164$，$P < 0.01$）。例如，处理 4 h 后，南瓜上蛹的羽化率为 62.83%，而西红柿上蛹的仅为 19.69%。寄主与处理时间之间也存在明显的交互作用（$F_{(12,69)} = 4.439$，$P < 0.01$）。

相同的处理时间下，随着处理温度降低，蛹的羽化率显著下降（图 1：C）。0℃处理 2 天，各寄主上桔小实蝇 1 日龄蛹羽化率均很低，在 6%以下；3℃处理时羽化率变化较大，在 25%～86%，平均为 55.8%；6℃处理时羽化率较高，在 60%～93%，平均为 79.2%；9℃处理 2 天对桔小实蝇 1 日龄蛹存

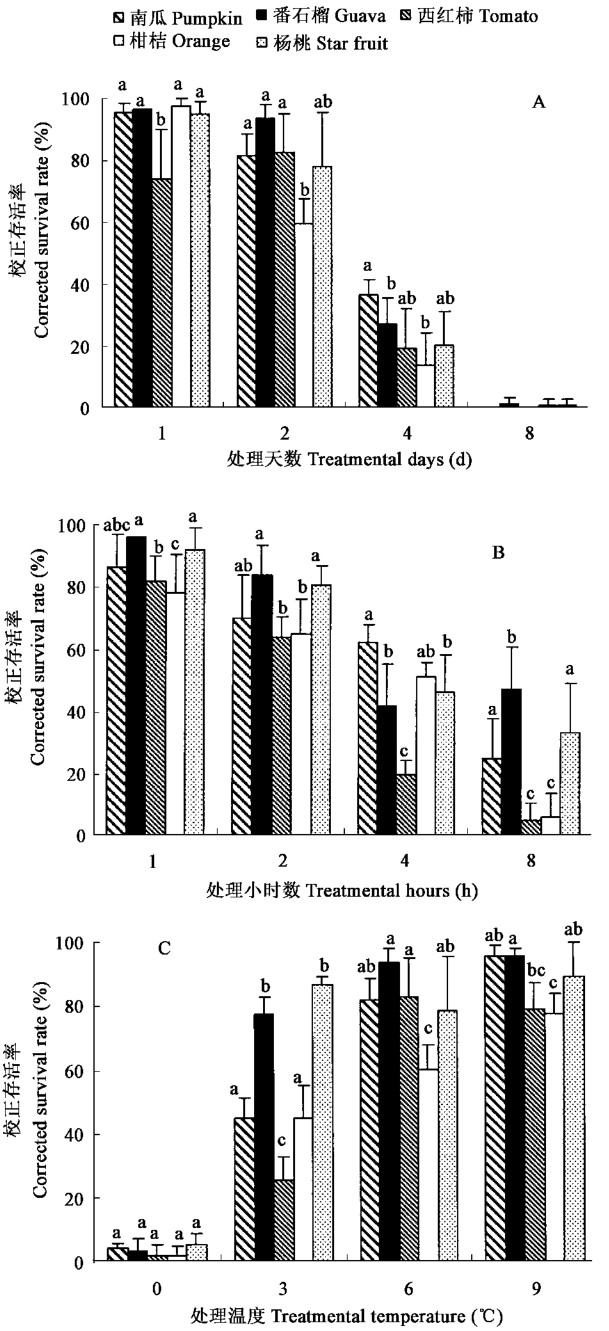

图 1　不同果蔬上桔小实蝇 1 日龄蛹暴露在低温后校正存活率

Fig. 1　Corrected survival rates of one day old pupae of *Bactrocera dorsalis* bred with different fruits and melons under the low temperatures

A：6℃；B：－3℃；C：在 0、3、6 和 9℃下暴露 2 天

Exposure 2 days at 0，3，6 and 9℃.

相同处理柱上方带有相同字母表示经 Duncan 检验在 0.05 水平上差异不显著。The same small letters of the same treatment over the column show no significant dirrerence at the 0.05 level by Duncan's method.

活影响不大，羽化率均较高，在 79%～96%，平均为 87.2%。同一温度处理下部分寄主间蛹的羽化率也存在显著差异（$F_{(4,76)} = 35.824$，$P < 0.01$）。例如，

3℃时处理 2 天，蛹的羽化率杨桃上的最高，为 86.7%，番石榴上的为 77.6%，柑桔、南瓜上的较低，分别为 44.9%、44.7%，西红柿上的最低，仅为 25.2%。9℃处理时南瓜、番石榴、杨桃上蛹的羽化率明显高于西红柿和柑桔。经分析寄主与处理温度间交互作用明显（$F_{(12,76)} = 10.795$，$P < 0.01$）。

表 3 5 种寄主发育的桔小实蝇蛹低温暴露后死亡率和暴露时间，死亡率和暴露温度的逻辑斯缔回归模型参数估计

Table 3 Parameter estimate (± *SE*) for logistic regression models relating mortality of pupae of *Bactrocera dorsalis* bred with five different hosts to exposure time and exposure temperature at different low temperatures

寄主 Hosts	6℃				－3℃				2 天 Two days			
	a	b	R^2	$Ltime_{50}$ (d)	a	b	R^2	$Ltime_{50}$ (h)	a	b	R^2	$Ltemp_{50}$ (℃)
番石榴 Guava	6.10	1.77	0.999	3.444	1.81	0.29	0.574	6.37	3.15	1.46	0.989	2.159
杨桃 Star fruit	4.06	1.37	0.999	2.965	1.95	0.37	0.835	5.245	2.79	1.54	0.878	1.812
柑桔 Orange	3.60	1.49	0.980	2.411	1.80	0.49	0.977	3.68	1.75	0.36	0.901	4.83
西红柿 Tomato	3.09	1.75	0.932	2.87	2.52	0.97	0.994	2.595	3.16	0.73	0.924	4.355
南瓜 Pumpkin	3.77	1.09	0.999	3.47	1.92	0.38	0.971	5.115	2.32	0.66	0.992	3.505

$Ltime_{50}$：表示导致 50%蛹死亡所需的时间 Time required for achieving 50% mortality；$Ltemp_{50}$：表示导致 50%蛹死亡所需的温度 Temperature required for achieving 50% mortality.

进一步用逻辑斯缔曲线方程（$Pt = 100/(1 + a * \exp(-b * t))$）对 5 种寄主瓜果发育所得蛹的低温死亡率与低温暴露时间及低温死亡率和暴露低温之间进行拟和，桔小实蝇蛹低温死亡率 Pt 与低温暴露时间和暴露低温 t 之间均符合逻辑斯蒂曲线（$P < 0.01$；$R^2 > 0.84$）（表 3）。

$Ltime_{50}$在不同寄主瓜果发育所得蛹之间有明显差别：6℃和－3℃低温暴露下，南瓜、番石榴和杨桃上蛹的 $Ltime_{50}$较柑桔和西红柿发育所得蛹都长，柑桔发育所得蛹在 6℃和－3℃下的 $Ltime_{50}$ 分别为 2.411 天和 3.68 h，而南瓜上的分别为 3.47 天和 5.115 h，之间有明显区别（表 3）。不同寄主瓜果发育所得蛹在低温暴露 2 天情况下，$Ltemp_{50}$之间同样存在明显区别：杨桃上 $Ltemp_{50}$为 1.812℃，而柑桔上的显著升高至 4.83℃（表 3）。

4 讨论

过冷却点是衡量昆虫致死低温的一个有效指标，与昆虫的低温忍耐能力密切相关（MacDonald *et al*., 2000）。但一些研究表明过冷却点只是表示大多数昆虫耐寒性的一个相对指标，许多昆虫在暴露于其体内还未结冰的低温时就已出现大量的死亡（Knight *et al*., 1986）。本文测定了 15 种寄主瓜果上桔小实蝇 1 日龄蛹的过冷却点，发现部分寄主上蛹过冷却点间存在明显差异，这说明寄主对桔小实蝇耐寒性存在一定影响。桔小实蝇不同虫期的过冷却点是不同的，所测定的虫期 SCP 变幅在－5.7℃～－25.1之间，其中老熟幼虫、1 日龄蛹和成虫（包括雌雄）的 SCP 值明显高于 3 日龄蛹、5 日龄蛹和 7 日龄蛹。美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 各虫期 SCP 值也是变化的，变幅在－11～－24℃，以老熟 3 龄幼虫的 SCP 值为最低，可能是与斑潜蝇老熟幼虫从危害的叶面虫道中出来化蛹的习性有关，以降低老熟幼虫的过冷却点来应对外界变化的环境温度；该虫蛹不同发育时间 SCP 值没有显著差异，分析认为一旦化蛹，蛹有了蛹壳的保护，作为一种防御屏障，因而其各发育阶段之间无显著性差异（Zhao and Kang, 2000）。桔小实蝇的老熟幼虫同样有从取食的果实中弹跳出来入土化蛹的习性，但其 SCP 值却较高，而且蛹随着发育阶段的延长，SCP 明显降低，其中的原因有待进一步研究。

不同寄主上桔小实蝇蛹低温存活力实验结果表明，无论是在较长期和较短暂的低温处理还是在不同低温相同时间的处理中，西红柿和柑桔上桔小实蝇蛹的羽化率基本上都低于杨桃、番石榴和南瓜上发育的。5 种寄主上 1 日龄蛹中，南瓜上蛹 SCP 值最高，为－10.36℃，杨桃上的最低，为－12.08℃，差异显著。在选取的 5 种瓜果中，番石榴上桔小实蝇产卵量大，卵孵化率高，各虫态发育历期短，明显高于柑桔和西红柿（另文发表）。这与桔小实蝇产卵选择性相吻合（许益镌等，2005；袁盛勇等，2005）。桔小实蝇的偏好寄主（如番石榴、杨桃等）在为其发育提供了充足营养的同时也增强了其对不良环境的抗逆性，这与昆虫的适生策略相一致。寄主的营养直接作用于昆虫体内抗寒性物质的积累和与低温忍耐能力等有关的生理代谢过程，因而寄主营养所导致昆虫体内与耐寒性有关的生理生化反应值得进一步深入研究。

参 考 文 献（References）

Bale JS，1989. Cold hardiness and overwintering of insects. *Agricultural Zoology Reviews*，3：157 – 192.

Butani DK，1979. Insects and Fruits Periodical Export Book. Agency，New Delhi. 415.

Chen YJ，Sun XG，Zhang WG，Guo YY，Mou ZG，Guo GZ，2005a，Relation between variation of water，fat，glycerol *in vivo* of over-wintering *Diaphania pyloalis* Walker larvae and cold-hardiness. *Acta Sericologica Sinica*，31(1)：22 – 25. **[陈永杰，孙绪良，张卫光，郭彦彦，牟志刚，郭光智，**2005a. **桑螟越冬幼虫体内水分、脂肪、甘油的变化与抗寒性的关系. 蚕业科学**，31(1)：22 – 25]

Chen YJ，Sun XG，Zhang WG，Mou ZG，Guo GZ，2005b. Relationship between variation of protein，amino acid，low-molecular carbohydrate in over-wintering *Diaphania pyloalis* Walker larvae and cold-hardiness. *Acta Sericologica Sinica*，31(2)：111 – 116. **[陈永杰，孙绪良，张卫光，牟志刚，郭光智，**2005b. **桑螟越冬幼虫体内蛋白质、氨基酸、碳水化合物的变化与抗寒性的关系. 蚕业科学**，31(2)：111 – 116]

Fan JA，1998. Studies on the assessment of potential establishment of oriental fruit（*Bactrocera dorsalis*）in China with synthetic judgment on fuzzy mathematics. *Plant Quarantine*，12(2)：76 – 80. **[范京安**，1998. **用模糊综合评判法探讨桔小实蝇在中国的适生分布. 植物检疫**，12(2)：76 – 80]

Hou BH，Zhang RJ，2005. Potential distributions of the fruit fly *Bactrocera dorsalis*（Diptera：Tephritidae）in China as predicted by CLIMEX. *Acta Ecologica Sinica*，25(7)：1 570 – 1 574. **[侯柏华，张润杰**，2005. **基于** CLIMEX **的桔小实蝇在中国适生区的预测. 生态学报**，25(7)：1 570 – 1 574]

Jiang XL，He WZ，Xiao S，Ren LQ，Sun BZ，Zhang CL，2001. Studies on the biology and survival of *Bactrocrea dorsalis* in the border region of Yunnan. *Journal of Southwest Agricultural University*，23(6)：510 – 517. **[蒋小龙，和万忠，肖枢，任丽卿，孙兵昭，张朝良**，2001. **桔小实蝇在云南边境生物学研究及适生性分析. 西南农业大学学报**，23(6)：510 – 517]

Knight JD，Bale JS，Franks F，Mathias SF，Baust JG，1986. Insect cold hardiness：supercooling points and pre-freeze mortality. *Cyroletters*，7：194 – 203.

Liang ZG，Sun XG，Zhang TX，Li B，2003. Correlation between contents of amino acid and cold hardiness of over-wintering larvae of *Acantholyda posticalis*. *Journal of Shandong Agricultural University*（*Natural Science*），34(4)：467 – 470. **[梁中贵，孙绪良，张同心，李波**，2003. **松阿扁叶蜂越冬幼虫体内氨基酸含量变化与抗寒性的关系. 山东农业大学学报(自然科学版)**，34(4)：467 – 470]

Liu JH，Ye H，2005. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis*（Diptera：Tephritidae）in Yuanjiang dry-hot valley，Yunnan with an analysis of the related factors. *Acta Entomol. Sin.*，48(5)：706 – 711. **[刘建宏，叶辉**，2005. **云南元江干热河谷桔小实蝇种群动态及其影响因子分析. 昆虫学报**，48(5)：706 – 711]

MacDonald JR，Bale JS，Walters KFA，1999. Temperature，development and establishment potential of *Thrips palmi*（Thysanoptera：Thripidae）. *Eur. J. Entomol.*，96：169 – 173.

MacDonald JR，Head J，Bale JS，Walters，KFA，2000. Cold tolerance，overwintering and establishment potential of *Thrips palmi*. *Physiological Entomology*，25：159 – 166.

Sage RB，Fell D，Tucker K，Sotherton NW，1999. Post hibernation dispersal of three leaf-eating beetles（Coleoptera：Chrysomelidae）colonizing cultivated willows and poplars. *Agric. Forest. Entomol.*，1：61 – 70.

Stephen RM，Cheng PC，Virginia KW，2001. Cold tolerance and proline metabolic gene expression in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Physiology*，47：393 – 400.

Vargas RI，Carey JR，1990. Comparative survival and demographic statistics for wild oriental fruit fly，Mediterranean fruit fly and melon fly（Diptera：Tephritidae）on papaya. *J. Econ. Entomol.*，83(4)：1 344 – 1 349.

Xiao S，Jiang XL，Zhang CL，Ying XS，Yang YX，2001. Biological characters of oriental fruit fly and melon fruit fly. *Plant Quarantine*，15(6)：332 – 337. **[肖枢，蒋小龙，张朝良，应雪松，杨雁雄**，2001. **瑞丽桔小实蝇、瓜实蝇生物学特性的观察. 植物检疫**，15(6)：332 – 337]

Xu YJ，Zeng L，Lu YY，Lin JT，2005. Ovipositional selection of the *Bactrocera dorsalis*（Hendel）to the different fruits. *Journal of Huazhong Agricultural University*，24(1)：25 – 26. **[许益镌，曾玲，陆永跃，林进添**，2005. **桔小实蝇对不同水果产卵的选择性. 华南农业大学学报**，24(1)：25 – 26]

Yang YT，2002. Influence of host plants on the cold hardiness of overwintering pupae of the cotton bell worms（*Helicoverpa armigera* Hübner）. *Wuyi Science Journal*，18：43 – 45. **[杨燕涛**，2002. **寄主对棉铃虫(***Helicoverpa armigera* Hübner**)越冬蛹抗寒能力的影响. 武夷科学**，18：43 – 45]

Ye H，2001. Distribution of the oriental fruit fly（Diptera：Tephritidae）in Yunnan Province. *Entomol. Sin.*，8(2)：175 – 182.

Ye H，Liu JH，2005. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis*（Diptera：Tephritidae）in Xishuangbanna of Southern Yunnan. *Chin. J. Appl. Ecol.*，16(7)：1 330 – 1 334. **[叶辉，刘建宏**，2005. **云南西双版纳桔小实蝇种群动态. 应用生态学报**，16(7)：1 330 – 1 334]

Yuan SY，Xiao C，Kong Q，Chen B，Li ZY，Gao YH，2005. Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis*（Hendel）. *Acta Agriculturae Universitis Jiangxiensis*，27(1)：81 – 84. **[袁盛勇，肖春，孔琼，陈斌，李正跃，高永红**，2005. **桔小实蝇的产卵选择性. 江西农业大学学报**，27(1)：81 – 84]

Zhang QY，1998. Biological characteristics of *Bactrocera dorsalis*（Hendel）. *Journal of Entomology of East China*，7(2)：65 – 68. **[张清源**，1998. **桔小实蝇生物学特性. 华东昆虫学报**，7(2)：65 – 68]

Zhang RJ，Hou BH，2005. Assessment on the introduction risk of *Bactrocera dorsalis*（Hendel）through imported fruits with fuzzy mathematics. *Acta Entomol. Sin.*，48(2)：221 – 226. **[张润杰，侯柏华**，2005. **桔小实蝇传入风险的模糊综合评估. 昆虫学报**，48(2)：221 – 226]

Zhao YX，Kang L，2000. Cold tolerance of the leafminer *Liriomyza sativae*（Dipt.，Agromyzidae）. *J. Appl. Entomol.*，124：185 – 189.

（责任编辑：袁德成）